

ЭПТ 2015



ACED 2015

УДК 621.313.3

6.4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE

Мещеряков Виктор Николаевич, д-р. техн. наук, зав. каф. «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» Липецкого государственного технического университета, Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. E-mail: mesherek@ya.ru, Тел.: +74742328056

Муравьев Артем Артурович, аспирант, ассистент каф. «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» Липецкого государственного технического университета, Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. E-mail: a.murawjow@yandex.ru, Тел.: +74742328252

Башлыков Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» Липецкого государственного технического университета, Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. E-mail: bashlukov-am@yandex.ru, Тел.: +74742328252

Мещерякова Ольга Викторовна, аспирант, каф. «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» Липецкого государственного технического университета, Россия, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. E-mail: mesholga@mail.ru, Тел.: +74742328252

Viktor N. Meshcheryakov, Doctor Sc., Lipetsk State Technical University, 398600, St. Moscow 30, Lipetsk, Russia. E-mail: mesherek@ya.ru, Ph.: +74742328056

Artem A. Murav'ev, Lipetsk State Technical University, 398600, St. Moscow 30, Lipetsk, Russia. E-mail: a.murawjow@yandex.ru, Ph.: +74742328252

Alexander M. Bashlykov, Cand. Sc., Lipetsk State Technical University, 398600, St. Moscow 30, Lipetsk, Russia. E-mail: bashlukov-am@yandex.ru, Ph.: +74742328252

Olga V. Meshcheriakova, Lipetsk State Technical University, 398600, St. Moscow 30, Lipetsk, Russia. E-mail: mesholga@mail.ru, Ph.: +74742328056

Аннотация: Рассмотрен подход к реализации автономного генератора на базе асинхронного двигателя с фазным ротором с подключением цепи статора к нагрузке и питанием роторных обмоток от регулируемого источника переменного тока, а также определены границы устойчивой генерации электроэнергии.

Abstract: The approach to implement a stand-alone generator based on an induction motor with a wound rotor connected to the stator circuit to the load and the power rotor windings from a regulated source of alternating current, and also defined the boundaries of sustainable electricity generation.

Ключевые слова: автономный генератор; асинхронный двигатель с фазным ротором; устойчивость; инвертор напряжения; оптимальный режим.

Key words: the stand-alone generator; the synchronized asynchronous electrical machine; stability; voltage inverter; the optimal mode.

В настоящее время актуальными становятся электромеханические системы отбора мощности из возобновляемых источников энергии. В число таких источников входит энергия ветра. В большинстве случаев основным агрегатом преобразования энергии на электростанциях является синхронный генератор. В установку входят ступенчатый мультиплексор, выпрямитель, стабилизатор постоянного тока, инвертор.

Большое количество преобразователей удорожает установку и снижает ее КПД.

Альтернативным вариантом устройства преобразования энергии является машина двойного питания. Ее использование позволит снимать качественное напряжение непосредственно со статора машины. Для этого необходимо создать систему управления питанием цепи ротора, которая учитывала переменную скорость вращения вала машины.

Системы преобразования частоты и напряжения используются не только для управления короткозамкнутыми асинхронными двигателями, но и для управления машиной двойного питания, в том числе выполненной на базе типовой асинхронной машины с фазным ротором, при ее работе, как в двигательном, так и в тормозном режиме. Разработаны системы двухзонного управления двигателем двойного питания, в которых два согласованно работающих преобразователя частоты включены в цепь статора и ротора [1, 2].

Машина двойного питания, работающая в генераторном режиме, при питании обмотки ротора от преобразователя частоты, обеспечивающего синусоидальную форму первой гармоники регулируемого выходного напряжения, способна обеспечивать высокое качество выходного напряжения при переменной скорости вращения вала. Современные преобразователи частоты, выполненные на базе инвертора тока с релейными регуляторами фазных напряжений, обеспечивают приближенную к синусоидальной форму выходного напряжения [3, 4].

Для построения системы генерации электроэнергии на базе машины двойного питания необходимо создать систему управления питанием цепи ротора, которая учитывала переменную скорость вращения вала машины. Для исследования энергетических показателей машины при различных скоростях вращения вала была создана модель в пакете MatLAB Simulink. Функциональная схема приведена на рис. 1. Для исследования был выбран асинхронный двигатель с фазным ротором МТН-011-6.

Рассмотрим случай, когда скорость вращения вала меньше скорости холостого хода, которая обеспечит значение частоты напряжения на статоре равное 50 Гц. Для того чтобы поддерживать в цепи статора частоту 50 Гц необходимо в ротор подавать ток с частотой которая определяется по формуле:

$$\omega_2 = \omega_1 - \omega_p \quad (1)$$

где $\omega_1 = 50$ Гц.

Цепь ротора подключена к управляемому источнику синусоидального напряжения, а к статору подключена нагрузка (рис. 1).

Для исследования описанных процессов была создана модель в пакете Matlab Simulink представленная на рис.2. Для моделирования были определены параметры исследуемой асинхронной машины с фазным ротором МТН-011-6.

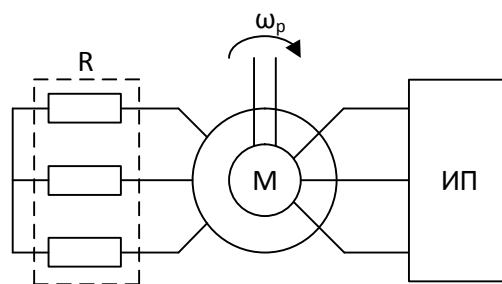


Рис. 1. Схема исследования машины двойного питания

Роторная цепь запитана от нерегулируемых источников переменного напряжения. Применение неуправляемых источников упрощает модель и ускоряет процесс моделирования, при этом позволяет исследовать описанные выше процессы. При расчете значений параметров блоков источников напряжения роторной цепи принимались во внимания параметры скорости вращения вала и величина нагрузки.

Частота питающего напряжения ротора связана с частотой вращения вала машины соотношением (1). Амплитуда напряжения задавалась с коэффициентом приведения, т.к. в Simulink модели двигателей работают с приведенными значениями. При построении графиков зависимостей используются действительные значения напряжений.

Для контроля сдвига фаз между токами и напряжениями в статорной цепи используется трехфазный измеритель, для работы которого необходим блок сопротивлений, который обеспечивает нулевой потенциал средней точки при соединении «звездой». При исследовании модели на скорости вращения вала генератора выше синхронной обеспечивалась смена чередования фаз путем переключения подходящих соединений к двигателю.

Для поддержания действующего значения напряжения на статоре в ротор подавалось напряжение зависящее от скорости вращения вала и величины нагрузки. Для снятия зависимости напряжения U_2 от скорости вращения вала принята величина мощности нагрузки равной номинальной нагрузке для выбранного двигателя. В ходе проведения эксперимента были получены данные приведенные на рис. 3. Как видно из рисунка зависимость между напряжением и скоростью вала нелинейная. По условиям эксперимент нагрузка была неизменной и напряжение статора поддерживалось на уровне 380 В, при этом ток ротора был постоянен. Ввиду постоянства тока ротора напряжение прямо пропорционально зависит от сопротивления цепи ротора. Для поддержания частоты напряжения статора частота тока ротора изменялась и, следовательно, изменялось индуктивное сопротивление.

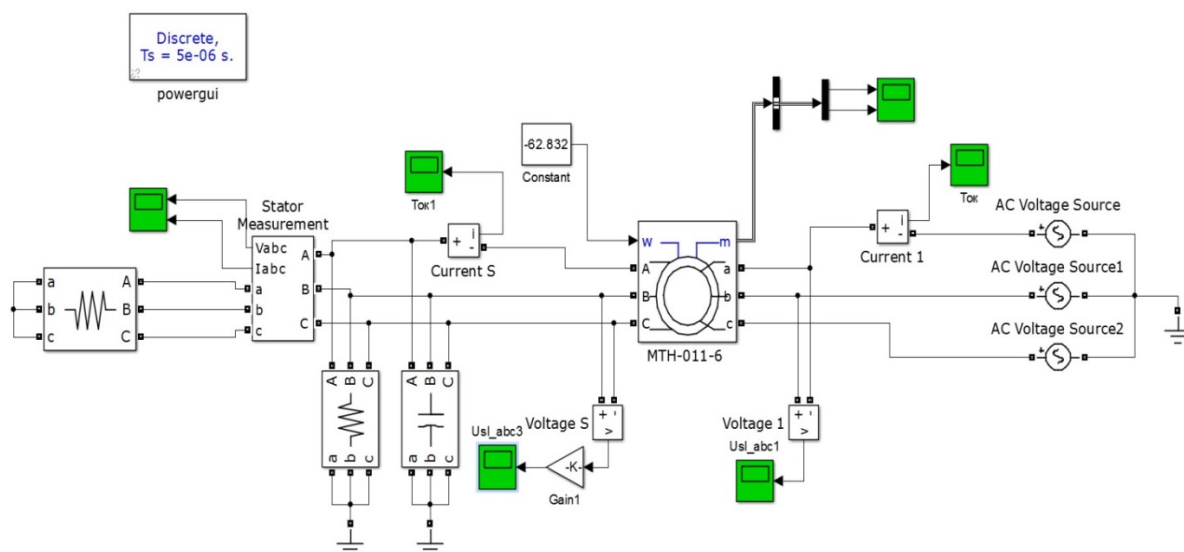


Рис. 2. Модель генератора на асинхронном двигателе с фазным ротором с батареей конденсаторов в цепи статора

Для подтверждения характера зависимости напряжения ротора от частоты вращения вала построим характеристику изменения сопротивления ротора при изменении скорости вращения (рис. 4).

При низких скоростях вращения вала величина подаваемого напряжения в цепь ротора значительно превышает значения при скоростях около точки холостого хода. Поэтому для определения диапазона оптимальных скоростей вращения вала с точки зрения потребления и выработки энергии необходимо построить график изменения мощностей статора, ротора, подаваемой механической энергии и потерь. По рис. 5 видно, что для выработки электроэнергии с наименьшими затратами скорость вала генератора должна быть не меньше 83 рад/с.

При этой скорости подаваемая механическая мощность полностью преобразуется в мощность отдаваемую на статор, а потери компенсируются за счет энергии подаваемой в цепь ротора. С увеличением скорости растет величина преобразуемой механической энергии, что позволяет уменьшать мощность передаваемую в цепь ротора. Причем при скоростях выше скорости холостого хода возбужденная машина начинает отдавать активную мощность и по цепи ротора. Но при этом по-прежнему продолжает потреблять реактивную мощность.

Рассмотрим необходимость применения в статорной и роторной цепях конденсаторных батарей как источников реактивной мощности. Поскольку величина «генерируемой» конденсаторной батареей реактивной мощности пропорциональна ωC , то для статорной цепи обосновано использование

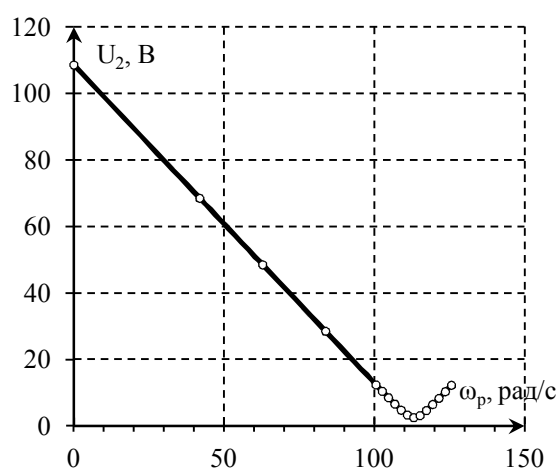


Рис. 3. Зависимость напряжения подаваемого в ротор от скорости вращения вала генератора

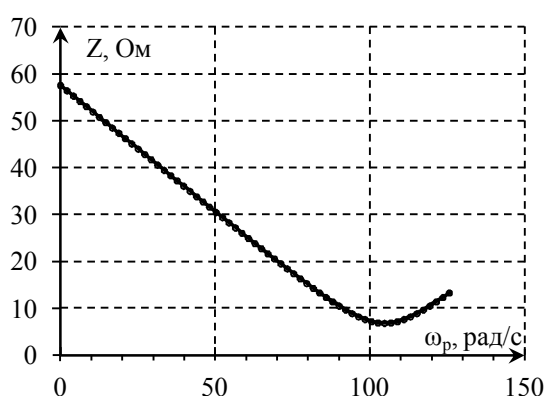


Рис. 4. Сопротивление цепи ротора в зависимости от скорости вращения вала

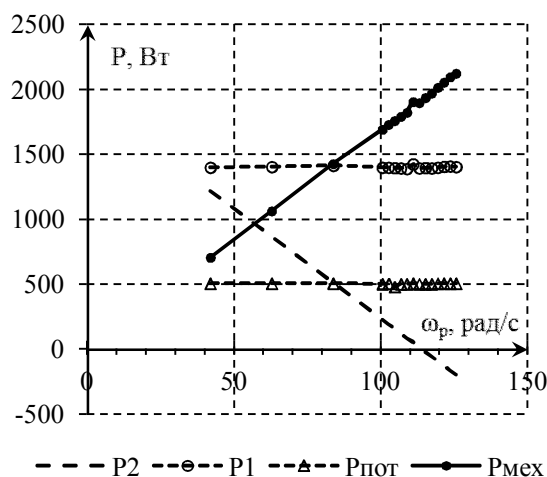


Рис. 5. Энергетический баланс

конденсаторной батареи компенсирующей реактивное сопротивление холостого хода асинхронной машины, при этом расчет емкости конденсаторной батареи был произведен следующим образом:

$$\begin{aligned}
 X_c &= X_{xx}; \\
 X_{xx} &= \frac{U_{1\phi}}{I_{cx}} \cdot \sin(\varphi_{xx}) = \\
 &= \frac{U_{1\phi}}{I_{cx}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2(\varphi_{xx})} = \\
 &= \frac{380}{3.9} \cdot \sqrt{1 - 0.15^2} = 55.6 \text{ Ом}; \quad (2) \\
 X_c &= \frac{1}{C \cdot \omega_{0эл}}; \\
 C &= \frac{1}{314 \cdot 55.6} = 57.2 \text{ мкФ}.
 \end{aligned}$$

По измеренным данным значение реактивной мощности поступающей в роторную цепь не велико, даже при низкой скорости вращения вала генератора, когда частота подаваемого тока приближается к частоте 50 Гц. Поэтому применение конденсаторной батареи в роторной цепи не целесообразно.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод, что диапазон скорости, при которой происходит генерирование мощности, лежит в области околосинхронных частот. При этом можно сделать вывод о необходимости источника питания, работающего на низких частотах в районе 30 Гц. Кроме того при выборе типа источник питания предпочтение следует

отдать преобразователю выполненному на основе стандартного автономного инвертора напряжения, поскольку, в сравнении с автономным инвертором тока он не использует для фильтрации выходных токов конденсаторных батарей, которые малоэффективны на низких частотах питающего напряжения. А емкость конденсатора звена постоянного тока можно значительно снизить, так как было выяснено, что в исследуемом режиме асинхронная машина практически не потребляет реактивной мощности по роторной цепи.

Не решенным остается вопрос определения минимального числа оборотов ротора машины, при котором целесообразно применение данного способа управления и имеет место положительный выход электрической энергии. Кроме того для использования такого генератора в качестве автономного источника электрической энергии целесообразно исследовать режим питания роторной обмотки путем забора части энергии со статора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещеряков В.Н., Безденежных Д.В. Возможности машины двойного питания в отношении двухзонного регулирования // Электротехнические комплексы и системы управления, 2010. №1. С. 26-29.
2. Мещеряков В.Н., Безденежных Д.В. Наблюдатель потокосцепления для машины двойного питания, управляемой по статорной и роторной цепям // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2010. №11. С. 170-173.
3. Мещеряков, В. Н. Системы управления асинхронным электроприводом на базе автономного инвертора тока / В. Н. Мещеряков, А. С. Абросимов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика: ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет» – Новочеркасск, ЮРГТУ. – 2012. – №4. – С. 53–57.
4. Пат. 2456742 Российская Федерация, МПК H02P25/02, H02P27/04, H02P27/06. Способ управления электроприводом переменного тока/ Мещеряков В.Н., Безденежных Д. В., Башлыков А.М., Абросимов А.С. (Россия); заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Липецкий государственный технический университет (ГОУ ВПО ЛГТУ) (RU) – №2011114789/07; заявл. 14.04.2011; опубл. 20.07.2012, Бюл. №20. – 9 с.